

КАБІНЕТ МІНІСТРІВ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

**ТЕХНОЛОГІЯ ПЕРЕРОБКИ
БІОЛОГІЧНИХ ВІДХОДІВ У
БІОГАЗОВИХ УСТАНОВКАХ З
ОБЕРТОВИМИ РЕАКТОРАМИ**

Науково-методичні рекомендації

*За редакцією доктора технічних наук,
професора Г. А. ГОЛУБА*

Київ
НУБіП України
2014

УДК 620.95
ББК 40.74
Т38

Схвалено проблемною вченою радою Науково-дослідного інституту техніки і технологій (протокол № 6 від 12 грудня 2013 р.) та вченою радою Навчально-наукового технічного інституту (протокол № 5 від 14 січня 2014 р.)

Авторський колектив:

**Голуб Г. А., Сидорчук О. В., Кухарець С. М., Гох В. В.,
Осауленко С. В., Завадська О. А., Рубан Б. О., Поліковська Н. Л.,
Швець Р. Л., Чуба В. В., Павленко М. Ю.**

Рецензенти:

Шевченко І. А. - член-кореспондент НААН України, доктор технічних наук, професор, директор Інституту олійних культур НААН України;

Сидорчук О. В. - член-кореспондент НААН України, доктор технічних наук, професор, заступник директора Національного наукового центру "Інституту механізації та електрифікації сільського господарства" НААН України.

Т38 Технологія переробки біологічних відходів у біогазових установках з обертовими реакторами / [Голуб Г. А., Сидорчук О. В., Кухарець С. М. та ін.; за ред. д-ра техн. наук, проф. Г. А. Голуба]. - К.: НУБіП України, 2014. - 106 с.

ISBN 978-617-7189-11-3

Науково-методичні рекомендації розроблені на основі результатів науково-дослідної роботи «Розробити технологію інтегральної переробки біологічних відходів у біогазових установках нового покоління». Вони містять актуальні узагальнення з розробки технології інтегральної переробки біологічних відходів у біогазових установках в умовах агропромислового комплексу України й можуть бути використані агропромисловими підприємствами та підприємствами сільськогосподарського машинобудування.

**УДК 620.95
ББК 40.74**

©Г. А. Голуб, 2014
© Національний університет біоресурсів
і природокористування України, 2014

ISBN 978-617-7189-11-3

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 Основні положення для обґрунтування схеми біоенергоконверсії органічної сировини з використанням гною та рослинних ресурсів.....	10
2 Схеми біоенергоконверсії органічної сировини з використанням гною та рослинних ресурсів.....	13
3 Аналіз матеріальних потоків у системі біоенергоконверсії органічної сировини з використанням гною та рослинних ресурсів.....	23
4 Розрахунок балансу гумусу в системі біоенергоконверсії органічної сировини з використанням гною та рослинних ресурсів.....	24
5 Сучасні тенденції розвитку біогазових установок.....	29
6 Використання жому і меляси в суміші з соломною для виробництва біогазу.....	39
7 Аналіз метаноутворення в біогазових установках.....	46
8 Обґрунтування рівня занурення та коефіцієнта заповнення біомасою обертового метантенка.....	51
9 Кінетика зброджування органічної маси в біогазових установках...	59
10 Енергетичні параметри біогазової установки з обертовим реактором.	61
11 Конструкційно-технологічна схема біогазової установки з модульним біореактором та конструкція експериментальної біогазової установки з обертовим реактором.....	67
12 Собівартість виробництва біогазу в умовах сільськогосподарських підприємств.....	74
Висновки.....	81
Перелік посилань.....	85
Додаток А Баланс гумусу в модельних сівозмінах.....	97
Додаток Б Загальний вигляд експериментального зразка біогазової установки з обертовим реактором.....	101
Додаток В Загальний вигляд виробничого зразка біогазової установки з обертовим реактором.....	103

ВСТУП

На сучасному етапі перед людством постало декілька невідкладних проблем. Серед них – продовольча, енергетична та екологічна, розв'язання яких вимагає максимально ефективного збалансування харчових, сировинних та енергетичних потреб з можливостями агроecosистем при одночасному акумулюванні сонячної енергії у вигляді гумусу та утриманні й розширенні біологічного різноманіття біоценозів. Комплексне вирішення цих проблем спрямоване на подолання протиріччя, коли збільшення виробництва продуктів харчування або виробництва та споживання енергії призводить до порушення екологічної рівноваги та погіршення стану навколишнього природного середовища.

У зв'язку з прогнозованим вичерпанням основних видобувних енергоносіїв у найближчі 40-50 років, енергія з відновлювальних ресурсів є однією з найбільш обговорюваних тем в Європі та в усьому світі. Величезні викиди вуглекислого газу і метану в атмосферу призводять до збільшення парникового ефекту. Інвестиції в розвиток технологій одержання енергії з поновлюваних джерел, таких як енергія сонця, вітру, води, біомаси (органічні речовини тваринного або рослинного походження), або геотермальна енергія нині стає гострою необхідністю.

Насамперед проблема диверсифікації енергетичних джерел постає перед країнами-імпортерами видобувної паливної сировини, якою є й Україна. Вона не має в достатній кількості власних запасів паливно-енергетичних ресурсів і напряму залежить від імпортерів, які поставляють 75 % необхідного обсягу природного газу та 85 % нафти й нафтопродуктів і встановлюють рік у рік дедалі вищі ціни.

Значними споживачами паливно-енергетичних ресурсів є вітчизняні аграрні підприємства, тому перед ними постає об'єктивна необхідність впровадження інноваційних енергозберігаючих технологій, орієнтованих на

виробництво біологічних видів палива, які одержують у результаті переробки біологічної сировини та органічних відходів.

В Україні сьогодні потребу в нафті і нафтопродуктах постачальники забезпечують на 80% за рахунок імпорту. Виробництво енергії з відновлюваних джерел, в тому числі біомаси, динамічно розвивається у більшості Європейських країн.

Розвиток біоенергетики є також дуже актуальним і для України з її значним потенціалом місцевих палив, доступних для отримання енергії. Основними складовими потенціалу біомаси є солома та інші відходи сільськогосподарського виробництва (кукурудзяні стебла, стержні), лушпиння тощо, а також відходи місцевого господарства, садівництва та енергетичні культури. Особливе місце в використанні біомаси займає отримання шляхом анаеробного зброджування енергонасиченого біогазу та високоякісних екологічно чистих органічних добрив.

Останнім часом підвищення врожайності сільськогосподарських культур забезпечується використанням нових сортів та завдяки широкому застосуванню мінеральних добрив, пестицидів, гербіцидів, стимуляторів росту, збільшенню інтенсивності обробітку ґрунту. Це призводить до падіння родючості ґрунтів та вимагає періодичного перегляду і збільшення значень нормативних показників умісту в продуктах харчування небезпечних речовин.

Як показує досвід, проблема виробництва високоякісних та екологічно безпечних продуктів харчування в кількості, достатній для забезпечення потреб населення з одночасним відтворенням родючості ґрунтів, є актуальною для агропромислового виробництва.

Основою природного поповнення запасів гумусу в ґрунті є кореневі та пожнивні залишки рослин, а також солома, оскільки вона містить у собі усі складові для утворення гумусу, крім азотистих речовин та гній і послід як джерела азотистих речовин. Однак, незважаючи на наявність сировини для виробництва органічних добрив, вони застосовуються в обсягах, що значно менші від нормативних. Виробництво органічних добрив має непривабливий

характер через несприятливі умови роботи та постійно потребує створення та удосконалення відповідних засобів механізації.

Залучення в енергетичний баланс біологічних видів палива як поновлюваних ресурсів акумульованої сонячної енергії є одним із стратегічних напрямків розвитку цивілізації. Однак поширення використання біологічних енергоресурсів – доволі складний процес, що потребує додаткових витрат для надання їм споживчих якостей. Споживачі палива технологічно та технічно налаштовані впродовж останнього сторіччя на використання концентрованих неоновлюваних джерел енергії, а для стимулювання використання поновлюваних біологічних енергоресурсів необхідні значні витрати. В той же час, постійний ріст цін на паливо та необхідність збереження природного середовища потребують зосередження зусиль на розробці методів та технічних засобів для забезпечення енергоавтономності сільськогосподарського виробництва.

Таким чином, вирішення наукових проблем, що стосуються виявлення нових і удосконалення існуючих закономірностей для визначення конструкційно-технологічних параметрів машин та обладнання, які б дали змогу підвищити ефективність виробництва шляхом удосконалення й оновлення екологічно безпечних технологічних процесів, засобів механізації та обладнання для виробництва сільськогосподарської продукції та біопалив, дозволить досягти подальшого ефективного розвитку суспільства.

Виробництво біогазу є ефективною та інвестиційно привабливою технологією, що зумовлюється наявністю значного сировинного потенціалу, сприятливими природно-кліматичними умовами та низьким рівнем собівартості даного виду енергії порівняно з виробництвом біоетанолу й біодизеля.

Проте Україна перебуває на початковому етапі запровадження відновлюваних джерел енергії, недостатньо вивченими є науково-технічні та економічні проблеми виробництва і використання біогазу. Таким чином, вивчення іноземного досвіду щодо зазначених проблем і запровадження його в аграрних підприємствах України набуває особливої актуальності.

Лідерами з використання біогазових технологій є такі країни, як: Німеччина, Велика Британія, США, Канада, Бразилія, Данія, Китай, Індія та інші. Зростання виробничих потужностей виробництва біопалив в основному зумовлене законодавчою діяльністю Урядів, які підтримують виробників енергії з відновлювальних ресурсів. Виробництво біогазу в ЄС за своєю метою універсальне – він може бути використаний як для заміни природного газу, так і для виробництва тепла й електроенергії.

За даними Балтійського агентства використання енергії, швидке зростання капіталовкладень у біогазові технології спостерігається в Польщі, де планується побудувати 2 тис. біогазових установок (БГУ) загальною потужністю 1000 МВт, тому аналіз досвіду роботи існуючих установок, які послуговували пілотними проектами для формування цих планів, є актуальним.

Вітчизняні розробки промислових та малих фермерських біогазових установок (БГУ) відповідають рівню зарубіжних аналогів, але мають ряд невирішених проблем що впливають на продуктивність, технологічність процесу, його якість і екологічні показники. Враховуючи, що в Україні значна кількість с.-г. підприємств та біля 2-х мільйонів сільських дворів на даний час залишаються без зручного газового палива, а сільськогосподарські угіддя без високоякісних органічних добрив, існує доцільність проведення НДР та ДКР направлених на створення типоряду інноваційних біогазових установок.

Одна із проблем, яка виникає при роботі вертикальних реакторів БГУ, це перемішування субстрату, оскільки він містить пісок, що осідає на дно, а тому реактор через 5-6 років потребує розбирання та очищення, що є надзвичайно трудомісткою операцією. Використання механічних мішалок у повній мірі не вирішує питання баластування метанових реакторів, а тому доцільно застосовувати технічні рішення, які дозволяють усувати баластування метанових реакторів за рахунок використання реакторів обертового типу. Науковцями Вармінсько-Мазурського університету в Ольштині запропоновано використання обертових реакторів, які встановлюються на котках і не потребують використання перемішувальних пристроїв.

Соціально-економічна доцільність виконання НДР визначається потребами сільського господарства у постачанні якісних відновлювальних енергетичних ресурсів, якими для АПК є різні види біопалив з біосировини. Технічні та технологічні рішення, розроблені згідно із цим проектом дадуть можливість раціонального вибору екологічного та енергоощадного обладнання та інтегральних технологій залежно від фінансових умов підприємств АПК; а також правильного вибору технологічних параметрів при виробництві біогазу. Будуть також підготовані навчальні матеріали, що допоможуть поширювати досвід та просувати сучасні технології виробництва біогазу.

В Україні науковці також активно працюють над розробкою реакторів БГУ. Відомі пристрої для анаеробного бродіння органічної маси, як правило, складаються із корпусу, трубопроводів для подачі гною або посліду, відводу збродженої маси та біогазу, а різняться між собою конструкцією пристроїв для перемішування маси під час збродження.

У Європейському Союзі найбільшого поширення набули біогазові установки з використанням реакторів об'ємом від 1 тис. куб. м. Нами також розроблено та запатентовано декілька конструкцій модульних метантенків обертового типу, які дають змогу ефективно перемішувати субстрат і не допускати його розшарування під час збродження.

При відсутності перемішування біомаси в реакторі, через деякий час спостерігається розділення біомаси з утворенням шарів за рахунок різниці в щільності окремих мінеральних та органічних компонентів, а також за рахунок флотації частинок при газовиділенні. При цьому більша частина біомаси анаеробних бактерій знаходиться в нижній частині реактора, а органічна частина біомаси субстрату накопичується у верхній частині реактора. Наслідком цього є те, що зона контакту анаеробних бактерій із біомасою субстрату обмежена пограничним шаром вказаних частин реактора. Плаваюча кірка із твердих органічних речовин також блокує вихід біогазу. Сприяння контакту анаеробних бактерій із біомасою субстрату забезпечується за рахунок перемішування субстрату, однак при цьому інтенсивного перемішування слід

уникати, оскільки це може призвести до припинення анаеробного зброджування за рахунок порушення симбіозу ацетогенних та метаногенних бактерій. На практиці компроміс досягається за рахунок повільного обертання мішалок або їх роботи упродовж короткого часу.

При використанні проточних реакторів існує можливість того, що незначна частина поданої в реактор свіжої біомаси зразу ж буде вивантажена із реактора. Найкраще це питання вирішується за рахунок подачі в реактор невеликих порцій субстрату декілька разів на день, а також використання декількох реакторів, що працюють, як паралельно так і послідовно.

Частина твердих мінеральних включень, які містяться в субстратах на основі гною, звільняється в процесі біологічного розкладу в реакторі. Мінеральний осад призводить до зменшення корисного об'єму реактора. Досвід експлуатації реакторів біогазових установок показав, що уже зустрічаються реактори наполовину заповнені мінеральним осадом, який можливо видалити лише екскаватором після повної зупинки процесу зброджування.

Наукові дослідження виконувалися у рамках Програми заходів щодо інтеграції НДР і науково-інноваційної діяльності НУБіП України у напрямку сталого розвитку сільських територій, агропромислового виробництва, охорони природних ресурсів, ефективного використання та безпеки сільськогосподарської й харчової продукції, її відповідності національним і міжнародним стандартам на 2011-2015 рр.

1. Основні положення для обґрунтування схеми біоенергоконверсії органічної сировини з використанням гною та рослинних ресурсів

Загальновідомо, що основним джерелом накопичення біомаси рослин є процес фотосинтезу, в результаті чого утворюються вуглецеві компоненти рослинної тканини (целюлоза, геміцелюлоза, лігнін та інші). Для формування білкових речовин та жирів рослини потребують, як правило, амонійного або нітратного азоту, а також фосфору, калію та інших мінеральних речовин, які рослини за допомогою кореневої системи у вигляді водних розчинів поглинають із ґрунту. Ґрунт є основним середовищем для життєдіяльності мікроорганізмів. Це обумовлено тим, що на поверхню ґрунту надходить вся біомаса у вигляді відмерлих рослин та їх частин, які містять значну кількість вуглецевих сполук – основного енергетичного джерела для дихання мікроорганізмів. Для побудови власного організму мікроорганізми також потребують азоту, фосфору, калію та інших мінеральних речовин. В зв'язку з цим, ґрунтова мікрофлора є конкурентом рослин у споживанні мінеральних речовин. На протязі еволюції сформувалася ситуація, коли мінеральні речовини ґрунту стають доступними для рослин після циклу перетворень, який включає їх поглинання мікроорганізмами, відмирання мікроорганізмів, формування стійких орґано-мінеральних сполук ґрунту (гумусу) та їх послідуєчої мінералізації. Поступово поглинаючи мінеральні речовини ґрунту та за рахунок фотосинтезу, рослини формують свою біомасу, яка після відмирання знову стає основним енергетичним джерелом для діяльності ґрунтової мікрофлори. Так завершується малий біологічний кругообіг органічної речовини.

В агроценозах утворюється значна кількість органічної сировини (незернова частина урожаю, гній та послід), яка безпосередньо не використовується для виробництва продуктів харчування та як сировина в харчовій і переробній промисловості. В той же час, вона має визначальне значення для підтримання родючості ґрунту.

Розробка схем біоенергоконверсії органічної сировини проведена на

основі досягнень передових країн світу та із врахуванням реальних потреб і можливостей України. Розробка наукових засад використання гною та рослинних ресурсів у системі біоенергоконверсії органічної сировини проводилося на основі розробки імітаційних моделей. В основу розробки схем біоенергоконверсії органічної сировини покладено типову сівозміну, яка рекомендується для зерно-свинарських та зерно-молочних господарств та використано типові нормативи утримання тварин. Структурні схеми біологічної конверсії органічної сировини в агроценозах із виробництвом їстівних грибів розроблялася на основі типових сівозмін для інтенсивного землеробства зони Лісостепу [1, 2].

Урожайність сільськогосподарських культур приймалася згідно статистичних та довідкових даних [3, 4, 5, 6]. Кормова цінність продукції сівозміни визначалася згідно існуючих методик у кормових одиницях [7, 8]. Вихід незернової частини урожаю приймався згідно [9, 10], а нормативи виходу та вологості пташиного посліду – згідно [11, 12]. Поголів'я птиці, свиней та худоби визначалося на основі наявної кормової бази та потреби птиці в кормах [13, 14, 15]. На основі наявної кількості органічної сировини та вмісту в ній поживних речовин [16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29] розроблялася рецептура компостної суміші з умови вмісту в ній загального азоту на рівні 2 %, фосфору – 1 %, калію – 1,5 % та кальцію – 2,5 % від сухої маси. Балансування вмісту поживних речовин здійснювалося за рахунок мінеральних добрив [30, 31]. Основні параметри виробництва субстрату, грибів та продуктів птахівництва приймалися згідно існуючих нормативів [32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45]. Параметри виробництва тепла на основі соломи, дизельного біопалива на основі рослинних олій та біогазу приймалися згідно існуючих нормативів [46, 47, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 58]. Методика розрахунку балансу гумусу в сівозміні проводилася методами агрохімічних балансів [59, 60, 61, 62]. Структура використання зерна приймалася згідно [63]. При заданій площі та структурі сівозміни визначалася залежність балансу гумусу в сівозміні від рівня використання соломи на теплові

потреби та на виробництво їстівних грибів і компосту при забезпеченні позитивного балансу гумусу в сівозміні. Структурні схеми біологічної конверсії органічної сировини в агроценозах розроблялися для шестипільної сівозміни загальною площею 300 га. Розрахунок параметрів циклу біологічної конверсії органічної сировини в агроценозі проводився з розробкою програмного забезпечення для персонального комп'ютера і виконувалося методами комп'ютерного імітаційного моделювання.

Оцінка економічної ефективності виробництва біогазу на основі гною проведена на основі визначення собівартості виробництва біогазу та електроенергії виробленої на його основі, послідуєчого визначення прибутку від реалізації електроенергії по "зеленому" тарифу та визначення терміну окупності біогазової установки.

Процес біологічної трансформації органічної сировини від її початкового стану до ґрунтового гумусу проходить у декілька стадій. Основні з них:

- гідроліз – розклад полісахаридів на дисахариди, а в подальшому – моносахариди;
- синтез бактеріями колоїдних речовин на основі лігніну, який у цьому процесі участі не приймає, з утворенням лігніно-гумусного комплексу;
- синтез актиноміцетами та ґрунтовими мікроскопічними грибами залишків органічної сировини;
- полімеризація продуктів мікробіологічного синтезу з утворенням гумусових речовин, зв'язаних із мінеральними речовинами ґрунту;
- зміцнення зв'язків гумусових речовин із мінеральною частиною ґрунту й утворення ґрунтового гумусу [64, 65]. Новоутворений гумус ґрунту мінералізується і в подальшому використовується рослинами в процесі життєдіяльності. Таким чином завершується кругообіг органічної сировини в агроценозах.

Основною складовою для утворення первинного гумусу – лігніно-гумусного комплексу є лігнін, вміст якого в соломі змінюється від 10 до 20 % [66]. Цей фактор та значна його кількість є визначальними для використання

соломи в якості джерела відтворення родючості ґрунтів у системі органо-мінерального землеробства.

2. Схеми біоенергоконверсії органічної сировини з використанням гною та рослинних ресурсів

Структурні схеми диверсифікованого виробництва сільськогосподарської продукції та енергії передбачає: вирощування польових культур сівозміни з виробництвом зерна та цукрових буряків; збирання соломи зернових культур та стебел ріпаку; залишення подрібнених стебел кукурудзи на полі у вигляді мульчі; виробництво кормів; виробництво продуктів птахівництва та тваринництва; метанове (анаеробне) зброджування гною та посліду з виробництвом тепла та електроенергії з біогазу; підготовку і використання соломи зернових культур та стебел ріпаку на теплові потреби у вигляді брикетів, рулонів або січки; використання соломи зернових культур для виробництва грибів гливи; використання соломи зернових культур та стебел ріпаку, гною та посліду після зброджування для виробництва компосту; виробництво субстрату для вирощування печериць із компосту та виробництво грибів печериць; виробництво дизельного біопалива з ріпакового насіння; використання гліцеринового осаду на теплові потреби або його анаеробне зброджування.

Біологічна конверсія органічної сировини з вирощуванням їстівних грибів дає змогу максимально інтенсифікувати процес утворення первинного гумусу з органічної сировини агроценозу в штучних, найбільш оптимальних для кожної стадії біологічної конверсії умовах, а також отримати додаткову білкову продукцію у вигляді шапкових грибів печериць та гливи.

Розроблені схеми (рис. 2.1, 2.2 та 2.3), а також комп'ютерна імітаційна модель дає змогу встановити частку соломи, яка може спрямовуватись на теплові потреби індивідуально для кожного господарства. Частина зібраної соломи необхідно спрямовувати на компенсацію дефіциту гумусу. Це можна

здійснювати двома методами – залишати частину подрібненої соломи на полях або виробити на її основі компост чи субстрат для вирощування печериць. Перший метод за витратами значно дешевший, але потребує одночасного внесення підвищених доз гербіцидів. Крім того, при його використанні важко витримати оптимальне співвідношення вуглецю і азоту в процесі мікробіологічної ферментації соломи, адже ґрунтова мікрофлора надзвичайно чутлива до надлишкової кількості азоту в ґрунті.

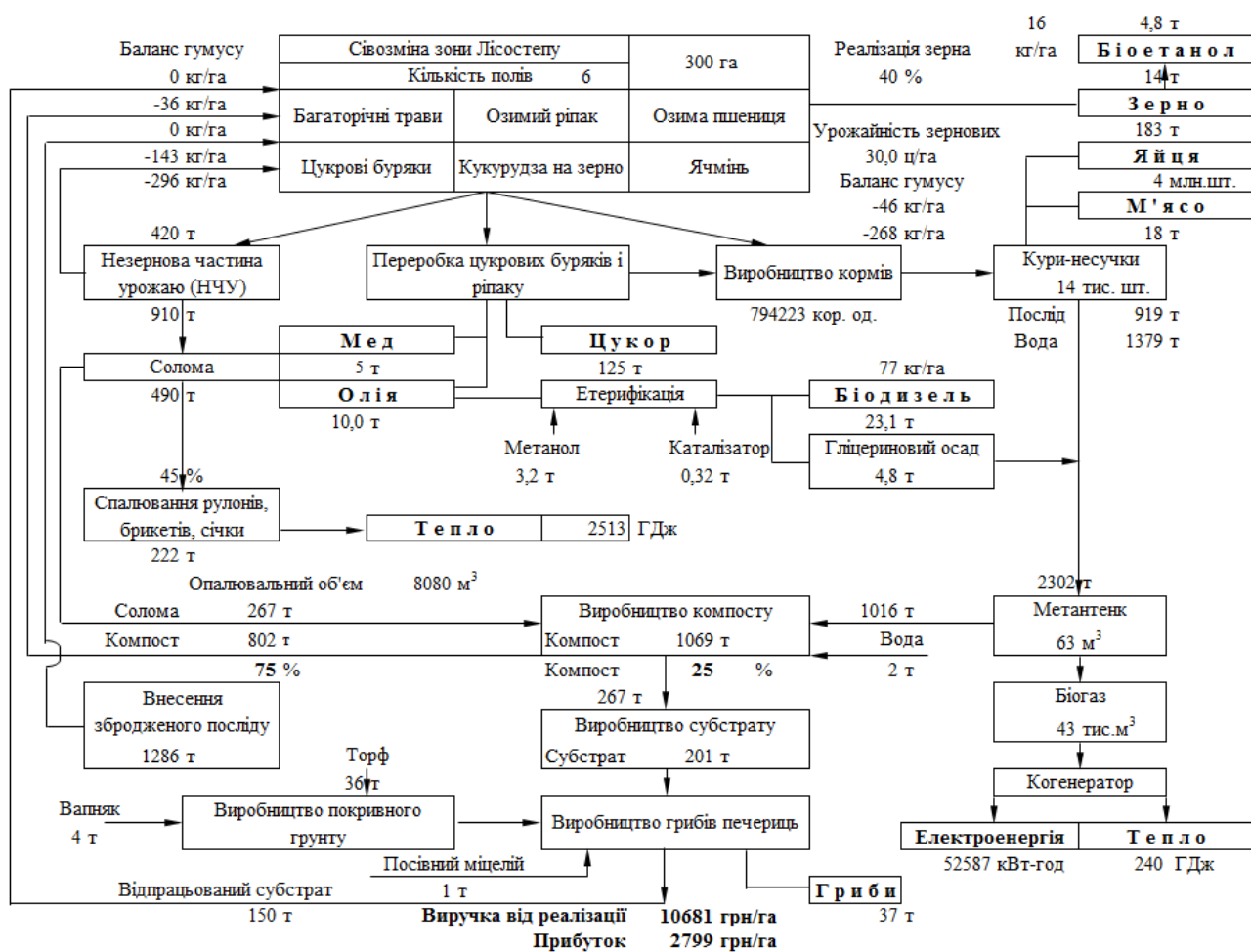


Рисунок 2.1 – Схема біологічної та енергетичної конверсії органічної сировини в агроєкосистемах для зерно-птахівничих господарств

Для проведення біоенергоконверсії органічної сировини в штучних умовах рекомендується створювати в сільськогосподарських підприємствах майданчики для виробництва компосту на основі соломи. Особливо це

стосується господарств зерно-птахівничого та зерно-свинарського напрямів.

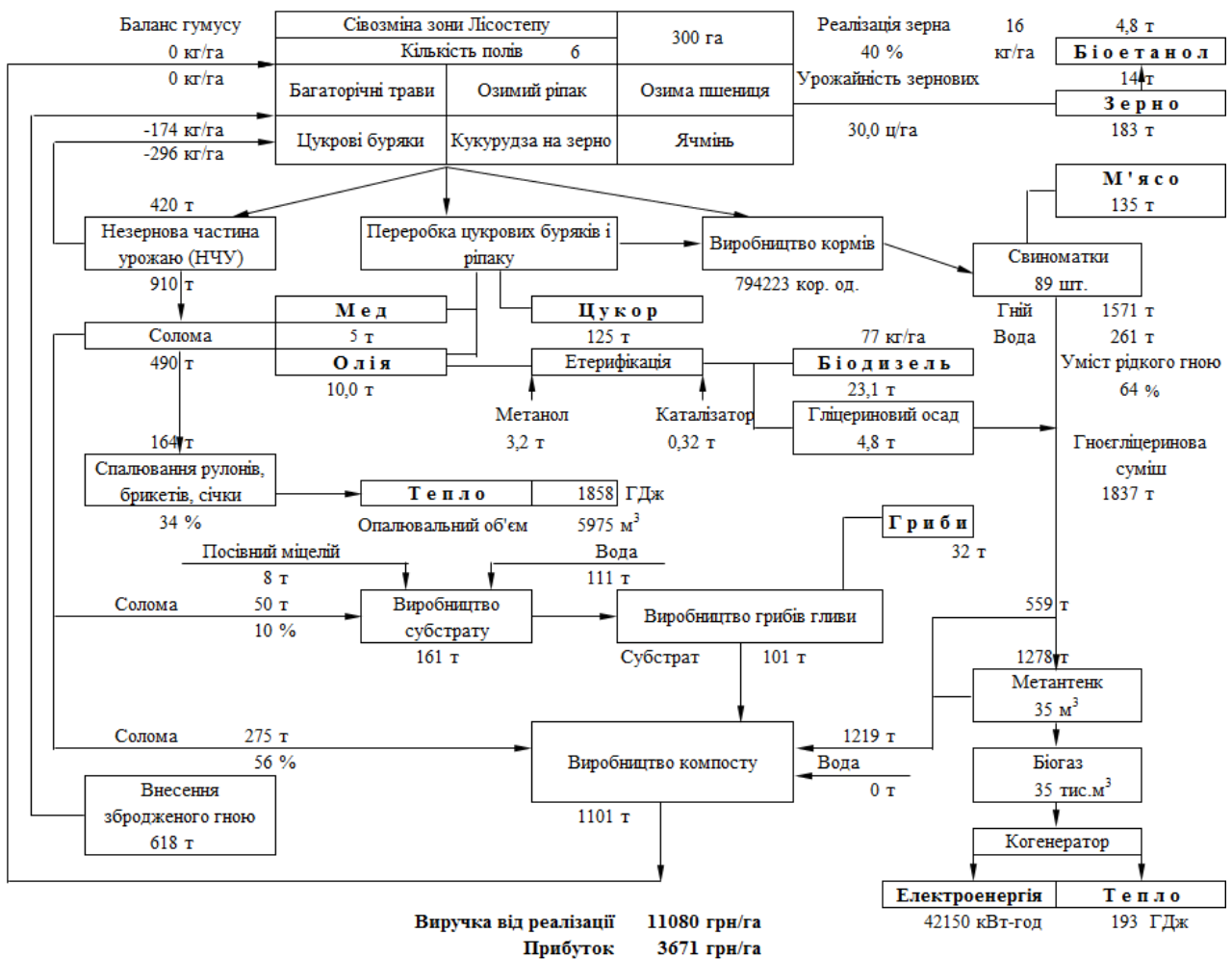


Рисунок 2.2 – Схема біологічної та енергетичної конверсії органічної сировини в агроекосистемах для зерно-свинарських господарств

Під час компостування органічної сировини в оптимальних, штучно створених умовах солома та послід набувають форм, необхідних для подальшого перетворення ґрунтовими мікроорганізмами. Завдяки проходженню біохімічних реакцій та нагріву до температури 50–70 °С відбувається знезараження патогенної мікрофлори, а також інактивація насіння бур'янів. Частка виробленого в господарстві компосту може бути використана для подальшої обробки в закритих ферментаційних камерах з отриманням субстрату для вирощування їстівних грибів. При цьому забезпечується максимальний розклад органічної сировини в штучних умовах у короткі строки

з одержанням стабільного продукту первинного гумусу.

Відпрацьований субстрат після вирощування грибів – це високоякісне органічне добриво і може бути використаний у технологіях вермикомпостування або внесений на поля. Для реалізації таких схем біоенергоконверсії розроблені технологічні процеси виробництва компосту на основі соломи та пташиного посліду, субстрату для вирощування печериць, їстівних грибів з використанням пристосованих приміщень [67, 68, 69].

Виробництво компостів на основі соломи є мало поширеним методом біологічної конверсії органічної сировини через відносну складність технологічного процесу та відсутність необхідних технічних засобів виробництву компостів у господарствах. Однак, якщо для виробництва компосту застосувати кузовні розкидачі органічних добрив (їх річне завантаження незначне і їх достатньо в господарствах), то їх необхідно дообладнувати модулями для формування буртів та розпушування компосту. Важливим є і той фактор, що виробництво компосту забезпечує ефективне використання не тільки соломи, але й уможливорює утилізацію гною та посліду після зброджування.

Спалювання соломи забезпечує одержання теплової енергії, яка може бути використана для обігріву тваринницьких, птахівничих та адміністративних приміщень, а також сушіння зерна.

Споживання рідкого палива сільськогосподарським виробництвом становить 60 – 110 л/га, в тому числі бензину 15 – 30 л/га. Відведення одного з полів сівозміни під вирощування ріпаку дасть змогу в розрахунку на один гектар, виробити від 100 до 110 л дизельного біопалива, а оскільки ріпак є прекрасним медоносом – ще й близько 5 тонн меду. Залежно від ситуації на ринку ріпакового насіння та дизельного палива господарство може прийняти рішення як про реалізацію насіння ріпаку і закупку дизельного пального, так і виробництво дизельного біопалива, або ж прийняти інше компромісне рішення. Гліцериновий осад доцільно використовувати як рідке паливо в теплових процесах, що забезпечить виробництво теплової енергії або піддавати

метановому зброджуванню.

Широка мережа спиртових заводів дає можливість забезпечувати виробництво біоетанолу в достатніх обсягах для роботи автомобільного транспорту у сільському господарстві. Потреба в зерні для виробництва біоетанолу не перевищує 4 % обсягу виробленого в агроєкосистемі зерна.

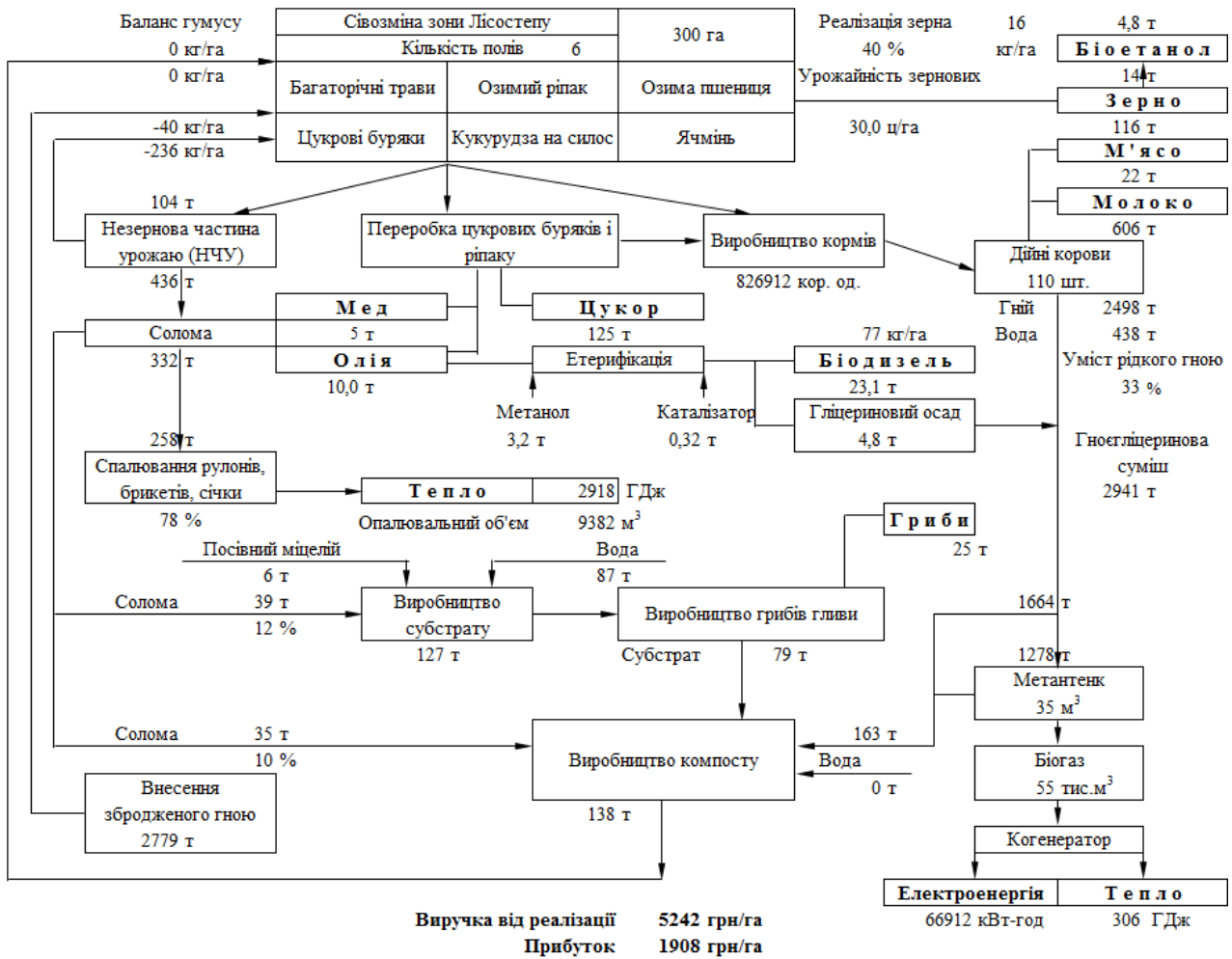


Рисунок 2.3– Схема біологічної та енергетичної конверсії органічної сировини в агроєкосистемах для зерно-скотарських господарств

Зброджування гною та пташиного посліду упродовж 10 діб потребує облаштування біогазової установки, яка забезпечить виробництво біогазу, а використання когенераційної установки, що працює на біогазі, дасть змогу отримати 26 % електроенергії та 66 % теплоенергії загальної енергетичної цінності біогазу. Одержана електроенергія може бути використана для роботи

біогазової установки та інших потреб. Теплова енергія у вигляді нагрітої води може бути використана для опалення та гарячого водопостачання.

У випадку біологічної та енергетичної конверсії органічної сировини у зерно-птахівничих господарствах з виробництвом печериць (рис. 2.1) доцільно виробляти компост, а в подальшому субстрат та гриби печериці. Для зерно-свинарських та зерно-скотарських господарств з виробництвом гливи (рис. 2.2 та 2.3) доцільно виробляти компост на основі органічної сировини агроєкосистеми, в тому числі відпрацьованого субстрату після вирощування гливи. Виробництво грибів дозволяє значно збільшити економічну ефективність господарювання.

Однак у кожному конкретному випадку необхідно прораховувати граничну інтенсивність виробництва грибів та субстрату для реалізації на основі ресурсів органічної сировини агроєнозу. Недодержання цієї вимоги призводить до виникнення в сівозміні негативного балансу гумусу та зниження родючості ґрунту.

Аналіз схем біологічної та енергетичної конверсії органічної сировини в агроєнозах дозволяє зробити висновок про можливість забезпечення в повному обсязі дизельним біопаливом. Сировинна база, що могла б забезпечити потреби сільськогосподарського виробництва при централізованому виробництві біоетанолу, є також достатньою.

Розрахунки згідно приведених схем біологічної та енергетичної конверсії можуть бути поширені на сівозміну довільної площі.

Кожен захід, який пропонується для реалізації в агроєкосистемах, повинен не тільки підтримувати родючість ґрунту, а й сприяти розширеному відтворенню родючості ґрунтів. Це безпосередньо стосується виробництва та використання соломи на теплові потреби. Тому серйозною науковою проблемою є визначення обсягів соломи, яка може бути задіяна на теплові потреби без шкоди для відтворення родючості ґрунтів.

На основі існуючих показників, що характеризують сільськогосподарське виробництво України загалом протягом останніх років, було також проведено

розрахунки стосовно визначення граничних обсягів соломи, яку можна використати на теплові потреби. Ця залежність, визначена у відсотках до загальної кількості соломи, має наступний вигляд:

$$C\% = -0,57D + 48,66 \quad (2.1)$$

де $C\%$ – граничний обсяг соломи від загальної кількості, яку можна використати на теплові потреби, %; D – річний дефіцит гумусу, кг/га.

Слід зазначити, що при загальному дефіциті гумусу в межах від 80 до 90 кг/га, використовувати солому на теплові потреби уже неможливо із умови збереження родючості ґрунтів. Граничний обсяг соломи, яку можна використати на теплові потреби, при нульовому балансі гумусу, становить близько 50 %.

Технологічні процеси і технічні засоби, які розроблені нами для реалізації енергетичної автономності виробництва органічної продукції в агроєкосистемах, наведені в таблиці 2.1.

Для забезпечення використання на теплові потреби бадилля кукурудзи та соняшнику, а також стебел ріпаку, залишаються не вирішеними технічні питання заготівлі цієї рослинної біомаси і в даний час її, як правило, подрібнюють та залишають на полях.

Незважаючи на вирішеність технічних питань нагріву води за рахунок спалювання соломи, задача використання соломи для сушки зерна залишається відкритою. Це пов'язано з тим, що при продуктивності сушарки 20 т/год., спалювання соломи повинно бути забезпечено в кількості не менше 500 кг/год. при тепловій потужності теплогенератора 2000 кВт. На нашу думку, ця технічна задача не може бути вирішена без розробки технічних засобів для газифікації соломи.

У світовій практиці створення біогазових установок існують два основних варіанти технологічних процесів і конструктивних рішень біогазових установок – екстенсивний, коли біомасу зброджують у мезофільному режимі з використанням вертикальних реакторів робочим об'ємом 1000 м³ і більше та

Таблиця 2.1 – Технологічні процеси і технічні засоби для виробництва органічної продукції та біопалив

Найменування технологічного процесу	Найменування будівельних споруд та технічних засобів
Технологічний процес виробництва компостів на основі пташиного посліду та соломи	<ol style="list-style-type: none"> 1. Майданчик для укладання буртів та зволоження соломи з водозбірником. 2. Агрегат для виробництва компостів АВК-20 в складі гноєрозкидача ПРТ-7, маніпулятора МПБ-Ф-0,5, приставки ПРК-20 та формувача буртів ФБК-20.
Технологічний процес виробництва субстрату для вирощування печериць	<ol style="list-style-type: none"> 3. Закрита пастеризаційна камера для термообробки субстрату. 4. Подрібнювач пастеризованого субстрату ППС-20. 5. Пакувальна машина для субстрату ПМСП-20
Технологічний процес виробництва печериць з використанням пристосованих приміщень	<ol style="list-style-type: none"> 6. Варіанти переобладнання с.-г. споруд під культиваційні приміщення для вирощування печериць. 7. Стелажна система для виробництва печериць. 8. Опалювально-вентиляційне обладнання культиваційних приміщень.
Технологічний процес виробництва субстрату для вирощування гливи методом ферментації в пастеризаційній камері	<ol style="list-style-type: none"> 9. Майданчик для зволоження соломи з водозбірником. 10. Закрита пастеризаційна камера для термообробки субстрату. 11. Двохстадійний поршневий ущільнювач субстрату ПМСГ-10

інтенсивний, коли біомасу зброджують у термофільному режимі з використанням модульних реакторів робочим об'ємом до 120 м³.

У першому варіанті вартість анаеробного реактора відносно невелика при спрощеній схемі технологічного процесу. У той же час, відсутня можливість забезпечити необхідну експозицію по всьому об'єму субстрату та відсутні засоби усунення баластування реакторів органічною та мінеральною складовими субстрату, а виведення реакторів на робочі технологічні параметри при їх розгоні є досить складним.

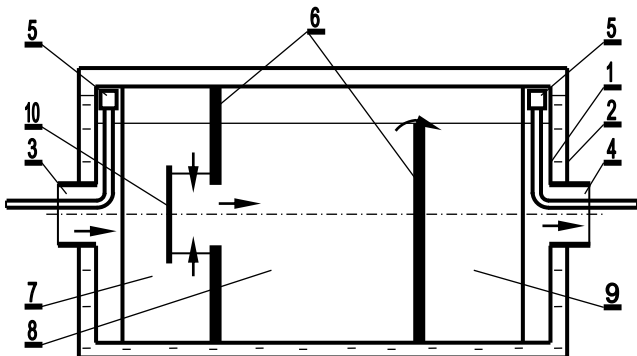
У другому варіанті, незважаючи на ускладнення технологічного процесу та обладнання, експозиція процесу зброджування і знезараження біомаси в 2-3 рази менша ніж при екстенсивному методі зброджування, відсутнє баластування реакторів органічною та мінеральною складовими субстрату, забезпечується необхідна експозиція по всьому об'єму субстрату, спрощується застосування інокуляції органічної маси, крім того при аварійних ситуаціях кількість біомаси на об'єкті піддається контролю.

Нами розроблено і запатентовано декілька модульних біогазових установок (рис. 2.4), зацікавленість у виготовленні яких проявляє ряд крупних машинобудівних заводів України. У даний час ведуться переговори щодо розробки документації та дослідного зразка такої установки.

Враховуючи той факт, що в Україні існують значні виробничі потужності металургійних і машинобудівних підприємств, доцільно розвивати напрямок інтенсивного виробництва біогазу, коли біомасу зброджують у термофільному режимі з використанням металомісткого обладнання модульних реакторів, що покращує контрольованість ведення технологічного процесу та економічні показники біогазових установок, на противагу будівництву реакторів великих об'ємів з екстенсивним методом зброджування, що пропонують іноземні фірми і який набув значного поширення в країнах Європейського Союзу.

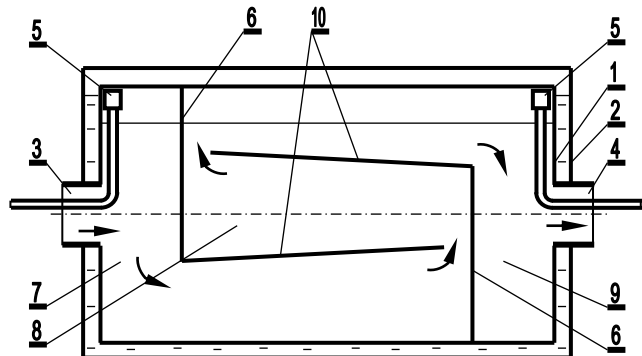
Економічна ефективність використання біологічної та енергетичної конверсії органічної сировини агроєкосистем із забезпеченням часткової енергетичної автономності виробництва, повинна визначатися на основі

розрахунку питомого прибутку – відношенням річного прибутку до загальної площі сівозміни. Встановлено, що найменш ефективним варіантом господарювання є відмова від розвитку тваринництва та птахівництва та реалізація зібраного урожаю. При цьому економічна ефективність мінімальна.



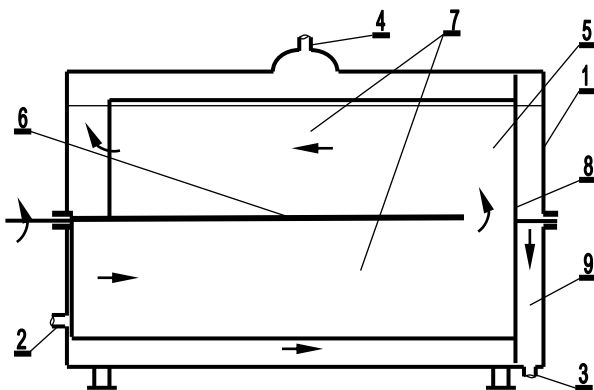
Патент на винахід 74718 [106]:

1 – циліндричний корпус; 2 – теплоізолюваний басейн; 3, 4 – горловини для завантаження та вивантаження; 5 – патрубки для біогазу; 6 – радіальні перегородки; 7, 8, 9 – камери попереднього, основного та залишкового зброджування; 10 – відбійна пластина.



Патент на винахід 81154 [107]:

1 – циліндричний корпус; 2 – теплоізолюваний басейн; 3, 4 – горловини для завантаження та вивантаження; 5 – патрубки для біогазу; 6 – поперечні перегородки; 7, 8, 9 – камери попереднього, основного та залишкового зброджування; 10 – повздовжні перегородки.



Патент на винахід 89305 [108]:

1 – циліндричний корпус; 2, 3 – патрубки для підводу й відводу органічної маси; 4 – патрубок біогазу; 5 – циліндричний перемішувальний пристрій; 6 – перегородка; 7 – камера зброджування; 8 – основа циліндричного перемішувального пристрою; 9 – вивантажувальна камера.

Рисунок 2.4 – Схеми метантенків для виробництва біогазу

Використання частки зібраного врожаю для формування кормової бази та відповідний розвиток тваринництва та птахівництва забезпечує підвищення ефективності виробництва не менше ніж утричі. Виробництво енергії, палива та грибної продукції також забезпечує додатковий економічний ефект.

3. Аналіз матеріальних потоків у системі біоенергоконверсії органічної сировини з використанням гною та рослинних ресурсів

Виконані розрахунки показали, що при середній урожайності озимої пшениці та ячменю 30 ц/га дефіцит гумусу в сівозміні, як різниця між величиною мінералізації гумусу польовими культурами та надходженням гумусу із органічної речовини рослинних решток, становить 516 кг/га для сівозміни зерно-скотарських господарств та 745 кг/га зерно-птахівничих та зерно-свинарських. Після врахування надходження гумусу з органічної сировини, що залишається на полі за рахунок втрат соломи в кількості 25 % від біологічного урожаю та подрібнених стебел зернової кукурудзи, залишених на полі у вигляді мульчі, а також біомаси сидератів та бур'янів дефіцит гумусу зменшується до величини 236 кг/га для сівозміни зерно-скотарських господарств та 296 кг/га зерно-птахівничих та зерно-свинарських. Внесення збродженого гною та посліду зменшує дефіцит гумусу до величини 40 кг/га для сівозміни зерно-скотарських господарств, 174 кг/га для зерно-свинарських та 143 кг/га для зерно-птахівничих. Використання відпрацьованого субстрату після вирощування гливи зменшує дефіцит гумусу до величини 18 кг/га для сівозміни зерно-скотарських господарств та 147 кг/га для сівозмін зерно-свинарських господарств. Додаткова кількість соломи, яка має бути використана для досягнення балансу гумусу становить 35 т для сівозміни зерно-скотарських господарств, 275 кг/га для сівозмін зерно-свинарських господарств та 267 т для сівозмін зерно-птахівничих господарств.

Обсяги зброджуваного гною для зерно-птахівничих підприємств становить 7-8 т/га для зерно-птахівничих господарств при використанні БГУ з реактором від 0,2 до 0,21 м³/га та зброджуванні упродовж 10 днів.

Для зерно-свинарських та зерно-скотарських підприємств обсяги зброджуваного гною залежать від рівня використання підстилки та за попередніми оцінками приблизно наполовину менші ніж для зерно-птахівничих підприємств.

Розроблена комп'ютерна імітаційна модель дає змогу встановити частку соломи, яка може спрямовуватись на теплові потреби індивідуально для кожного господарства. Так, в умовах, показаних на рисунках 2.1, 2.2 та 2.3, на теплові потреби є можливість зарезервувати від 30 до 80 % загального обсягу соломи. Це можна здійснювати двома методами – залишати частину подрібненої соломи на полях або виробити на її основі компост чи субстрат для вирощування грибів.

Незважаючи на те, що технічні питання нагріву води за рахунок спалювання соломи вирішено, задача використання соломи для сушіння зерна залишається відкритою. Це пов'язано з тим, що за продуктивності сушарки 20 т/год. спалювання соломи повинно бути забезпечено в кількості не менше 500 кг/год. при тепловій потужності теплогенератора 2000 кВт. На нашу думку, ця технічна задача не може бути вирішена без розробки технічних засобів для газифікації соломи.

Слід відмітити, що автономне виробництво електроенергії на основі відновлюваних джерел енергії через їх порівняно низьку потужність у більшості випадків потребує чіткого техніко-економічного обґрунтування. Переносити підвищену вартість електроенергії, отриманої із автономних джерел енергії, на собівартість с.-г. продукції є недоцільним (за винятком віддалених пасовищ та інших місцевостей, де відсутні електричні мережі). Навіть передача такої електроенергії в електричні мережі у більшості країн потребує введення спеціальних “зелених” тарифів.

4. Розрахунок балансу гумусу в системі біоенергоконверсії органічної сировини з використанням гною та рослинних ресурсів

На сьогодні вже існують методики, що дають змогу розрахувати баланс гумусу в сівозміні. Він визначається як різниця між кількістю мінералізованого гумусу та його надходженням за рахунок гуміфікації корневих решток, пожнивних залишок, біомаси бур'янів і сидератів та внесеного підстилкового

гною й інших органічних речовин. Вихідними параметрами (даними) для розрахунку балансу гумусу у сівозміні є комплекс статистичних, агрономічних та агрозоотехнічних показників. Серед них мінералізація гумусу культурами сівозміни, вихід сухої маси кореневих решток та сухої біомаси польових культур є такими, що залежать від урожайності польових культур і які, за даними наукових публікацій, змінюються у широких межах. Це не дає можливості розробити наближений до реальності алгоритм розрахунку балансу гумусу. Так, у 16 річному досліді показники запасу гумусу у сівозміні із 40% просапних культур та 10% багаторічних трав із щорічним внесенням 6 т гною та N56P56K56 при перерахунку на один рік становили від 700 кг/га у 10 сантиметровому шарі до 4570 кг/га у метровому шарі ґрунту при порівнянні із перелогом [70], а тому питання визначення показників мінералізації гумусу основними польовими культурами залишається відкритим. Для визначення виходу сухої маси кореневих решток основних культур існують відповідні рівняння регресії [71], однак вони не враховують кореневі органічні виділення, кількість яких може досягати 40 % наземної сухої маси рослин, а також оновлення маси коренів до кінця вегетаційного періоду, коли традиційними методами визначають кореневу масу [70]. Існують також проблеми щодо визначення обсягів сухої біомаси польових культур, оскільки коефіцієнти, що визначають співвідношення сухої біомаси польових культур та їх урожайності, змінюються у широких межах.

У разі наявності обґрунтованих значень наведених показників існувала б можливість об'єктивного визначити річний баланс гумусу – сполуки, яка утворюється після завершення циклу мікробіологічних перетворень ґрунтовою мікрофлорою органічної речовини, що надходить у ґрунт протягом року за наступною залежністю, т/га:

$$B = \frac{1}{\sum_{i=1}^n S_i} \left[- \sum_{i=1}^n k_{Mi} S_i + \sum_{i=1}^n S_i B_i^{KP} k_{Gi}^{KP} + \sum_{i=1}^n S_i B_i^{PB} \left(\frac{k_i^C + k_i^B}{100} \right) k_{Gi}^{PB} + Y_{BB} \sum_{i=1}^n S_i \times \right]$$